

# MODELOS CIBERNÉTICOS DE APRENDIZAJE

Por JUAN SÁNCHEZ CUENCA

El estudio comparativo de determinados procesos de información que se dan en animales y máquinas está siendo particularmente provechoso desde la aparición de la nueva ciencia del control y la comunicación, que se conoce con el nombre de Cibernética<sup>1</sup>.

El análisis concreto de procesos discentes como procesos de transformación de información a través de modelos formales y su sintetización en mecanismos o automatismos de cualquier índole, se revela especialmente interesante para la Pedagogía, disciplina volcada hoy a los problemas que plantea el aprendizaje como base para una adecuada concepción de las técnicas docentes<sup>2</sup>.

Entre los procesos discentes conocidos, el aprendizaje por medio de la formación de reflejos condicionados presenta unas características idóneas para la mejor comprensión de las posibilidades que ofrece la Cibernética en la interpretación de tales procesos a la luz de la Teoría de la Información<sup>3</sup>.

El objeto de este trabajo es precisamente presentar un detallado modelo binario de reflejo condicionado, susceptible de ser construido mediante el adecuado ensamblamiento de bloques de transistores. En él queda patentizada la importancia de ciertas categorías cibernéticas —información, retroalimentación, etc.— para el análisis de este tipo de procesos.

El diseño del modelo es puramente lógico, y en él no intervienen más que elementos que pueden ser tratados lógicamente. Conviene

---

<sup>1</sup> N. WIENER, *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge, Mass., 1948.

<sup>2</sup> Debido a la deficiente traducción de "programmed learning" por "enseñanza programada" muchos no captan la verdadera importancia del papel que juega el aprendizaje en estas técnicas.

<sup>3</sup> Véase H. FRANK, *Pédagogie et cybernétique*. Paris, 1967.

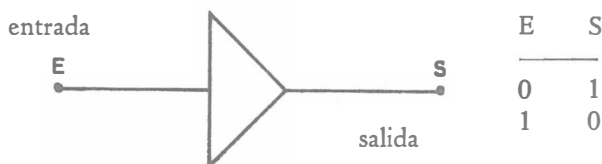
precisar que el sentido que toma aquí el término 'lógico' es el que se deriva de "Lógica Formal" en su acepción actual, es decir, simbólica o matemática.

El modelo consta de elementos de entrada y salida de información y sistemas de conexión que pueden acoplarse en forma de circuito. Tales elementos de entrada y salida tan sólo pueden adoptar dos estados diferentes que serán representados por los dígitos '1' y '0', los cuales indican, respectivamente, existencia y carencia de estímulo en los elementos de entrada y existencia o carencia de respuesta en los de salida.

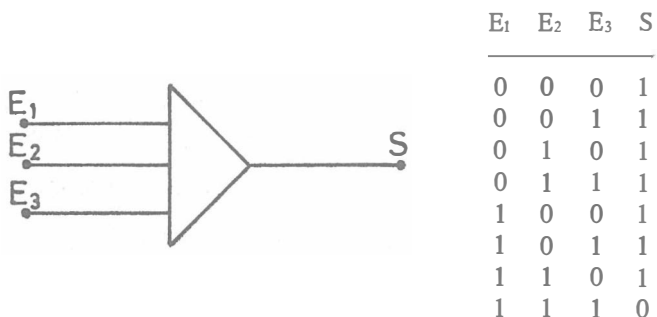
Tales elementos de entrada y salida pueden conectarse de un modo único: mediante un sistema tal que la única salida posible adopta el estado 0 si y sólo si todas las entradas posibles han adoptado el estado 1. En caso de que alguna entrada presentara el estado 0, la salida presentará el estado 1.

Dos denominaciones distintas tienen estos sistemas en dependencia del número de entradas que posean:

(i) Sistema "inversor". Dispone de una sola entrada. Su representación gráfica y tabla de valores son las siguientes:



(ii) Sistema "de negación alterna". Dispone de más de una entrada:



Estos dos sistemas corresponden a dos funciones lógicas bien conocidas del cálculo bivalente de enunciados: negación ( $\sim$ ) y negación alterna ( $/$ ), de las cuales la primera puede reducirse a la segunda ( $\sim p = p / p$ ). Para mayor claridad se ofrecen ejemplos de tablas de valores de estas funciones, en los que las letras 'v' y 'f' designan los valores "verdadero" y "falso", respectivamente, y las letras 'p' y 'q' sustituyen enunciados cualesquiera.

p	p / p
f	v
v	f

p	q	p / q
f	f	v
f	v	v
v	f	v
v	v	f

Obsérvese la isomorfía que guardan estas tablas con las anteriores, sustituyendo 'v' por '1' y 'f' por '0', la cual nos va a permitir diseñar lógicamente el modelo para sintetizarlo posteriormente como circuito de conexiones de entradas y salidas de información mediante los sistemas reseñados.

Con referencia al conocido experimento de Pavlov, asignemos la constante 'e' al enunciado 'el perro olfatea comida', 'c' a 'el perro oye el sonido de la campanilla' y 'r' a 'el perro segrega saliva'.

El resultado inicial del experimento es:

$$r = e \cdot c + e \cdot \sim c \quad [1]$$

donde ' $\cdot$ ' y ' $+$ ' expresan respectivamente el producto lógico o conjunción y la suma lógica o disyunción de enunciados [1], traducida a nuestra función base, adopta la forma

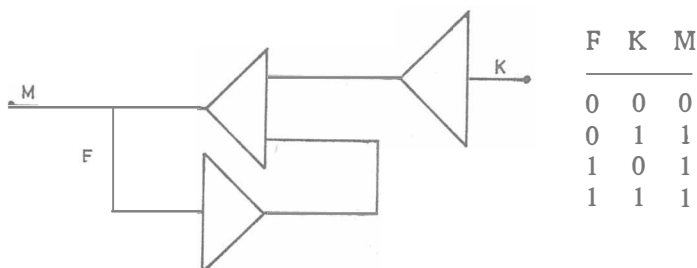
$$r = (e / c) / (e / (c / c)) \quad [2]$$

La lectura de [1] es la siguiente: 'r' si y sólo si 'e' y 'c' o 'e' y no 'c'; es decir, se produce respuesta (r) siempre que haya estímulo (e), vaya éste o no vaya acompañado de estímulo condicionado (c).

Volviendo al experimento, después de una serie de repeticiones de la conjunción de hechos mentada en 'e · c', se produce una modi-

ficación en la pauta de comportamiento, que presupone una retrotransmisión de información almacenada. A este almacenamiento y retrotransmisión los denominaremos “memorización” y “retroalimentación”.

Se puede sintetizar un elemental circuito de memoria con nuestro sistema de conexión:



Este circuito de *feedback* (F) o retroalimentación, memoriza cualquier estado 1 de la entrada (K) de forma tal que, aunque ésta vuelva al estado 0, la salida (M) conservará el estado 1, como se puede comprobar en la tabla de valores. Nótese que M, la salida, hace a su vez de entrada a través de F, retroalimentando el circuito. La fórmula lógica correspondiente es, de acuerdo con las indicaciones dadas anteriormente,

$$m = (m / m) / (k / k) \quad [3]$$

Para nuestros efectos, lo que se trata de memorizar, retrotransmitiéndolo después y retroalimentando el circuito, es el hecho de que se produzca *r* si se han producido los estímulos *e* y *c* conjuntamente; es decir, si en algún momento dado han coincidido *r* y *c*; no es necesario hacer referencia a *e*; lo contrario sería redundante, dado que el estímulo *e* es condición necesaria y suficiente para que se produzca la respuesta *r* y todavía no se ha formado el reflejo condicionado.

Por consiguiente lo que interesa memorizar es la información correspondiente a 'r · c' o, lo que es lo mismo, a '(r / c) / (r / c)'. En este caso el valor de la entrada K queda definido por

$$k = (r / c) / (r / c)$$

Sustituyendo ahora en [3] 'k' por su expresión equivalente en [4], obtenemos

$$m = (m / m) / (((r / c) / (r / c)) / ((r / c) / (r / c))) \quad [5]$$

que, una vez simplificada —por doble negación—, se convierte en

$$m = (m / m) / (r / c) \quad [6]$$

La última fase de este análisis nos lleva a considerar el experimento completo. Se producirá respuesta (segregación salivar) si y sólo si hay estímulo de comida, o hay estímulo condicionado y previamente se ha memorizado el hecho de que al menos una vez coincidieran ambos estímulos, con la consiguiente producción de respuesta. La primera parte la tenemos condensada en [2]; la segunda en [7]:

$$/ (c / m)^4$$

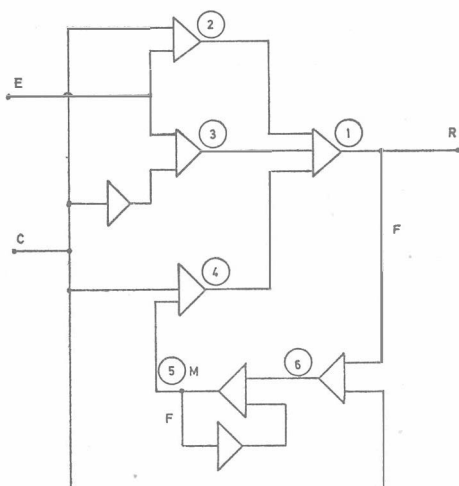
y la condición de memorización en [6]. Por tanto, las expresiones que manifiestan la estructura lógica del proceso son:

$$\begin{aligned} r &= (e / c) / (e / (c / c)) / (c / m) \\ m &= (m / m) / (r / c) \end{aligned} \quad [8]$$

De acuerdo con las fórmulas que aparecen en [8] se puede ahora sintetizar el circuito de conexiones, que constituye un modelo de reflejo condicionado

---

<sup>4</sup> El símbolo barra, a la izquierda de la fórmula que aparece en [7], indica que ésta aparece negada, es decir, que a la izquierda de este símbolo barra debe figurar otra expresión. Deberá ser tenido en cuenta para cuantas expresiones figuren así en el trabajo.



	E	C	M	R
I	0	0	0	0
II	0	0	1	0
III	0	1	0	0
IV	0	1	1	1
V	1	0	0	1
VI	1	0	1	1
VII	1	1	0 / 1	1
VIII	1	1	1	1

$$r = (e / c) / (e / (c / c)) / (c / m)$$

$$m = (m / m) / (r / c)$$

$$\textcircled{1} : \textcircled{2} / \textcircled{5} / \textcircled{4}$$

$$\textcircled{2} : / (e / c)$$

$$\textcircled{3} : / (e / (c / c))$$

$$\textcircled{4} : / (c / \textcircled{5})$$

$$\textcircled{5} : (m / m) / \textcircled{6}$$

$$\textcircled{6} : / (r / c)$$

$$r : \textcircled{1}$$

$$m : \textcircled{5}$$

Este circuito es de retroalimentación. Como tal, es necesario conocer previamente el estado de los *feedbacks* (F) —que se establece tienen un estado inicial 0— para poder conocer el estado de salida. Esto hace posible considerar sólo 8 pautas de comportamiento del circuito; de lo contrario se habrían de analizar hasta 32 ( $2^5$ ). Se considera a la memoria del circuito como una entrada (M) más.

A través de la tabla se puede observar el comportamiento del circuito; siempre que se produce el estímulo *e*, es decir, siempre que la entrada *E* toma el valor 1 —pautas V a VIII—, se produce la respuesta *r*, es decir, la salida (R) toma el valor 1. Por otra parte se observa que sólo se vuelve a producir esta respuesta en la pauta IV, cuando se produce el estímulo *c* y la memoria (M) tiene el valor 1.

En la pauta anterior (III) se patentiza la carencia de respuesta por no haberse dado previamente la pauta VII, de lo que es prueba el hecho de que M permanece en estado 0.

Este diagrama puede ser interpretado como diagrama-bloque de un circuito de transistores acoplados en paralelo<sup>5</sup>, lo cual abre la posibilidad de construir físicamente tal modelo, que imita el comportamiento biológico.

Se podrá decir que el modelo presentado es demasiado simple; que aprende después de un solo caso. Así es efectivamente, pero se podría sustituir el elemental circuito de memoria de que está dotado, por un circuito acumulador diseñado del mismo modo y con iguales elementos, lo cual nos permitiría disponer a voluntad el número de repeticiones necesarias del experimento hasta que se creara el reflejo condicionado<sup>6</sup>.

En todo caso, las deficiencias del modelo radican en que éste es determinista y en que no tiene capacidad de olvido. No obstante ilustra sobre las posibilidades que ofrece la cibernética para la clarificación y análisis de determinados procesos de transformación de informaciones.

En el caso de procesos de aprendizaje "los modelos de respuesta condicionada pueden conducir, aunque probablemente en un futuro remoto, a un nuevo concepto de autómata o, más bien, a un hiper-autómata; es decir, a un artefacto que pudiese gobernar una máquina y que, a la vez, pudiese ajustarse por sí mismo a las propiedades individuales de la máquina en cuestión, así se tratara de propiedades transitorias"<sup>7</sup>. Este texto de Greniewski es sobradamente aclarativo de las perspectivas futuras que se perfilan para un detallado estudio de los modos de aprendizaje en modelos que imitan el comportamiento biológico.

---

<sup>5</sup> Cfr. G. MALEY & J. EARLE, *The Logic Design of Transistor Digital Computers*. Englewood Cliffs, N. J., 1963. Cap. 1.

<sup>6</sup> Tal acumulador no es presentado en este trabajo por falta de espacio.

<sup>7</sup> H. GRENIEWSKI, *Cibernética sin matemáticas*. México, 1960, pág. 83.